

PROSIDING



“Mewujudkan Kemandirian Energi Melalui Inovasi di Bidang Teknik Mesin”

Kamis, 4 Agustus 2016
Kampus Universitas Kristen Petra
Surabaya

Editor :
Willyanto Anggono
Fandi D. Suprianto
Joni Dewanto
Roche Alimin

Penerbit :
Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236



Didukung oleh :



PROSIDING SEMINAR NASIONAL TEKNIK MESIN 11

“Mewujudkan Kemandirian Energi Melalui Inovasi di Bidang Teknik Mesin”

Hak Cipta @ 2016
Program Studi Teknik Mesin
Universitas Kristen Petra

Dilarang mereproduksi, mendistribusikan bagian dari publikasi ini dalam segala bentuk maupun media tanpa seijin Program Studi Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Dipublikasikan dan didistribusikan oleh:
Program Studi Teknik Mesin
Universitas Kristen Petra,
Jl. Siwalankerto 121-131
Surabaya, 60236
INDONESIA

ISBN: 978-602-74857-0-9

REVIEWER

1. **Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng.**
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2. **Prof. Dr. Ir. Eddy Sumarno Siradj, M.Sc.**
Universitas Indonesia
3. **Prof. Dr.-Ing. Ir. I Made Loden Batan, M.Eng.**
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
4. **Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng. PhD.**
Universitas Brawijaya
5. **Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.**
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
6. **Prof. Dr.-Ing. Ir. Mulyadi Bur**
Universitas Andalas
7. **Dr. Ir. Eka Dewi A. Handoyo, M.Sc.**
Universitas Kristen Petra
8. **Dr. Ir. Ignatius Nurprasetio, MS, ME.**
Institut Teknologi Bandung
9. **Dr. Jayan Sentanuhady**
Universitas Gadjah Mada
10. **Dr.-Ing. Suwandi Sugondo, Dipl. Ing.**
PT. Agrindo Tbk
11. **Dr. Willyanto Anggono, ST., M.Sc.**
Universitas Kristen Petra

PANITIA PELAKSANA

Ketua	: Sutrisno, S.T., M.T.
Sekretaris	: Ian Hardianto Siahaan, S.T., M.T.
Bendahara	: Amelia, S.T., M.T.
Acara	: Ir. Joni Dewanto, M.T.
Editor	: Dr. Willyanto Anggono S.T., M.Sc. Ir. Joni Dewanto, M.T. Fandi D Suprianto, S.T., M.Sc. Roche Alimin, S.T, M.Sc.
Pubdok	: Yopi Tanoto, S.T., M.T.
Konsumsi	: Ir. Ninuk Jonoadji, M.T., M.M.
Perlengkapan	: Ir. Philip Kristanto

SAMBUTAN KETUA PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Masyarakat Ekonomi ASEAN (MEA) tidak hanya membuka arus perdagangan barang atau jasa, tetapi juga pasar tenaga kerja profesional, seperti dokter, pengacara, akuntan, engineer, dan lainnya. Perguruan Tinggi di Indonesia diharapkan mengambil peranan penting untuk mempersiapkan generasi muda agar dapat bersaing dengan tenaga kerja dari luar. Selain itu, Perguruan Tinggi diharapkan melakukan riset untuk meningkatkan daya saing produk-produk Indonesia baik itu di sektor industri dan lainnya, sehingga Indonesia bisa memenangkan pasar Masyarakat Ekonomi ASEAN.

Mencermati hal di atas, maka dalam Seminar Nasional Teknik Mesin ke-11 ini kami mengambil thema "Mewujudkan Kemandirian Energi Melalui Inovasi Di Bidang Teknik Mesin". Kami berharap SNTM menjadi wadah diskusi terkait penelitian dalam bidang teknik mesin di antara praktisi dan akademisi, sehingga memperluas wawasan semua yang hadir dan menghasilkan pemikiran maupun inovasi untuk meningkatkan mutu penelitian kita. Lebih lagi, melalui diskusi selama SNTM dapat dihasilkan penelitian-penelitian yang mendukung upaya untuk meningkatkan daya saing produk kita terhadap produk dari negara lain.

Seminar Nasional Teknik Mesin telah diselenggarakan sepuluh tahun berturut-turut. Kami bersyukur rekan-rekan peneliti tetap memberi kami kepercayaan dengan ikut berpartisipasi dalam seminar yang ke-11. Semoga kiranya SNTM membawa manfaat, semangat dan sukacita kita semua dalam meneliti dan diskusi. Kami pun berterima kasih kepada rekan-rekan Panitia yang telah berjerih lelah mempersiapkan segala sesuatu sehingga SNTM 11 ini dapat terselenggara dengan baik.

Selamat berdiskusi, selamat berseminar. Tuhan memberkati.

Surabaya, 4 Agustus 2016
Ketua Program Studi Teknik Mesin

Dr. Ir. Ekadewi A. Handoyo, M.Sc.

SAMBUTAN KETUA PANITIA

Kami mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, bahwa atas pertolongan dan penyertaan Tuhan maka kegiatan ini dapat terselenggara dengan baik. Seminar Nasional Teknik Mesin (SNTM) merupakan kegiatan tahunan yang diselenggarakan oleh Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra. Pada tahun 2016 ini, SNTM akan diselenggarakan untuk ke sebelas kalinya. Sejak pertama kali diadakan hingga SNTM yang ke-11, berbagai kontribusi dari para akademisi dan profesional yang terpilih menunjukkan bahwa kegiatan rutin ini telah menjadi media diskusi dan pertukaran informasi yang baik untuk membahas perkembangan penelitian dan inovasi di bidang Teknik Mesin.

Melihat peranan bidang Teknik Mesin yang vital dan strategis di bidang pengembangan energi maka SNTM 11 ini mengusung tema “Mewujudkan Kemandirian Energi Melalui Inovasi di Bidang Teknik Mesin”. Tidak dapat dipungkiri bahwa kualitas penelitian yang baik dalam bidang Teknik Mesin sangat berperan dalam mewujudkan riset pengembangan energi. Oleh karena itu, melalui SNTM 11 ini karya-karya penelitian yang berkualitas diharapkan dapat memberikan sumbangsih dalam mewujudkan kemandirian energi bangsa.

Pada kesempatan ini, kami selaku panitia pelaksana SNTM, mengucapkan terima kasih kepada semua peserta yang telah mengirimkan abstrak dan artikel, serta hadir pada seminar nasional tahun 2016. Semoga artikel-artikel yang dipresentasikan ini dapat menambah kazanah pengetahuan dan wawasan kita terkait penelitian bidang Teknik Mesin. Artikel-artikel yang terpilih juga akan diterbitkan dalam Jurnal Teknik Mesin, yang tentunya dapat menjangkau para akademisi yang bukan peserta. Kami juga berharap artikel-artikel yang telah diserahkan ini dapat memberikan kontribusi dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Kami juga mengucapkan terima kasih pada para *reviewer* yang telah meluangkan waktu untuk mereview dan melakukan seleksi abstrak. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Keynote Speaker dari akademisi dan PT. GE Indonesia, untuk menyajikan materi yang sangat menarik. Kami berterima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat dalam penyelenggaraan SNTM ke 11 ini sehingga turut mendukung suksesnya kegiatan.

Akhir kata, kami selaku panitia pelaksana SNTM ke 11 menyampaikan permohonan maaf yang sebesar-besarnya apabila terdapat kesalahan atau kekurangan yang ada dalam penyelenggaraan maupun layanan kami.

Surabaya, 4 Agustus 2016
Ketua Panitia

Sutrisno, ST, MT.

KATA PENGANTAR

Seminar Nasional Teknik Mesin (SNTM) merupakan kegiatan tahunan yang diselenggarakan oleh Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra (UK Petra). Sejak pertama kali hingga SNTM 11 saat ini telah banyak kontribusi dari para akademisi dan profesional terpublikasi dalam kegiatan ini. Hal ini menunjukkan bahwa kegiatan ini telah menjadi media diskusi dan pertukaran informasi yang baik antar peserta dalam perkembangan inovasi di bidang Teknik Mesin.

Program pemerintah saat ini menggalakkan program kemandirian energi untuk memenuhi kebutuhan energi dalam negeri. Pemerintah Indonesia menargetkan pembangunan pembangkit listrik yang mengutamakan pembangkit dengan menggunakan energi terbarukan (*renewable*). Oleh karena itu SNTM 11 mengusung tema "Mewujudkan Kemandirian Energi melalui Inovasi di Bidang Teknik Mesin". Sebab penelitian-penelitian bidang Teknik Mesin berpotensi mampu mewujudkan kemandirian energi bangsa Indonesia melalui karya ilmiah yang inovatif.

Melalui Seminar Nasional Teknik Mesin 11 ini, karya-karya penelitian yang telah diseleksi diharapkan dapat memberikan solusi secara efektif, efisien, serta ramah lingkungan terhadap masalah-masalah di bidang teknik mesin, sehingga dapat mewujudkan kemandirian energi melalui inovasi di bidang teknik mesin untuk kepentingan bangsa melalui penelitian dan inovasi pada bidang teknik mesin untuk menghadapi persaingan global.

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa sebab hanya oleh karena rahmat dan anugerah Nya maka acara SNTM dapat terselenggara secara berkala. Hal ini juga menandakan bahwa forum diskusi SNTM sangat diminati oleh para akademisi dan profesional di bidang teknik mesin. Ruang lingkup makalah pada SNTM dikelompokkan menjadi empat bidang, yaitu: desain, konversi energi, manufaktur, dan otomotif. Lebih lanjut, kualitas makalah dijaga dengan baik melalui proses review yang ketat.

Akhir kata kami ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan prosiding SNTM 11 ini. Terlepas dari segala kekurangan yang ada, kiranya segenap upaya yang telah dilakukan dapat bermanfaat bagi kemajuan, penguasaan ilmu pengetahuan & teknologi di Indonesia, dan menjadi pendorong untuk menghasilkan karya-karya penelitian lanjutan yang lebih baik.

Surabaya, Agustus 2016

Tim Editor

DAFTAR ISI

	Halaman
REVIEWER.....	ii
PANITIA PELAKSANA.....	iii
SAMBUTAN KETUA PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN.....	iv
SAMBUTAN KETUA PANITIA.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii

DESAIN

1. PERANCANGAN KONSTRUKSI RANGKA MESIN PRESS PANAS PNEUMATIK BERBASIS 2 CONTROL RELAY <i>Ichros Sofil Mubarat, Sampurno, I Made Londen Batan.....</i>	DS1-DS4
2. PERENCANAAN DAN PEMBUATAN KONTROL MESIN PRESS PANAS PNEUMATIK BERBASIS 2 KONTROL RELAY DENGAN BANTUAN SOFTWARE FLUIDSIM, EWB DAN MATLAB <i>Reddy Berto Alfiando, Sampurno, Ari Kurniawan.....</i>	DS5-DS9
3. RANCANG BANGUN DAN KONSTRUKSI "MOUNTING SUPPORT" SOLAR MODULE <i>Toto Supriyono.....</i>	DS10-DS13
4. PENGARUH PEMASANGAN <i>FLYWHEEL</i> PADA ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN OLEH MODEL MEKANISME PLTGL TIPE <i>SALTER DUCK</i> <i>Wiwiek Hendrowati, Harus Laksana Guntur, Moch. Solichin, Aida Annisa Amin D.</i>	DS14-DS19

KONVERSI ENERGI

1. PROSES PELEBURAN PARAFFIN SEBAGAI PENYIMPAN KALOR TIPE <i>CONE-IN-SHELL</i> <i>Agus Dwi Korawan, Sudjito Soeparman, Denny Widhiyanuriyawan, Widya Wijayanti.....</i>	KE1-KE3
2. STUDI EKSPERIMEN ALIRAN MELALUI <i>SQUARE DUCT</i> DAN <i>SQUARE ELBOW 90°</i> DENGAN VARIASI SUDUT BUKAAN <i>DAMPER</i> <i>Eduard Wahyu Ramadhan, Wawan Aries Widodo.....</i>	KE4-KE9
3. SIMULASI NUMERIK ALIRAN MELINTASI SUSUNAN EMPAT SILINDER SIRKULAR PADA RASIO $L/D=2,0$ DEKAT DINDING <i>A. Grummy Wailanduw, Priyo Heru A</i>	KE10-KE15
4. KARAKTERISTIK PEMBAKARAN PREMIKS MINYAK KELAPA DENGAN EKIVALEN RASIO DALAM <i>HELE-SHAW CELL</i> <i>Hadi Saroso</i>	KE16-KE20
5. KARAKTERISTIK LEDAKAN-MIKRO PADA RAMBATAN API PEMBAKARAN PREMIKS CAMPURAN UAP MINYAK KELAPA-UDARA <i>Hadi Saroso.....</i>	KE21-KE26

6. PERANCANGAN KINCIR ANGIN UNTUK MENDUKUNG PANEL SURYA (PV array) SEBAGAI PENERANGAN PADA KERAMBA DI WADUK CIRATA
Rahmad Samosir, Melya Dyanasari Sebayang KE27-KE30
7. KARAKTERISTIK ALIRAN FLUIDA DIDALAM DIFUSER PADA SEBUAH CLOSED CIRCUIT WIND TUNNEL
Sutardi, Anastia Erina P. KE31-KE33
8. ANALISIS PENGARUH JUMLAH DAN DIAMETER *NOZZLE* SERTA SUDUT *BLADE* TERHADAP PUTARAN DAN DAYA TURBIN PELTON PADA PLTMH SKALA LABORATORIUM
Yani Kurniawan, Estu Prayogi..... KE34-KE36

MANUFAKTUR

1. ANALISIS STRUKTUR KRISTAL DAN TEGANGAN SISA PADA BAJA SCMn DENGAN TEKNIK DIFRAKSI SINAR-X
Srihanto, Sesmaro Max Yuda, dan Budi Arto MF1-MF5
2. PENGUJIAN MESIN PRESS PANAS PNEUMATIK BERBASIS 2 CONTROL RELAY UNTUK PRODUK CUPCAKE DENGAN BANTUAN SOFTWARE MINITAB
Aris Jiantoro, Sampurno, Bustanul Arifin Noer MF6-MF11
3. ANALISIS WAKTU PENUAAN TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO PADA PADUAN INGAT BENTUK $Cu_{53,4}Zn_{38,6}Pb_{5,7}Sn_{2,3}$
Budi Arto MF12-MF16
4. PENGARUH PARAMETER SUDUT *TORCH* PADA PROSES *DRY SHOT PEENING* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN MATERIAL AISI 316L SEBAGAI MATERIAL BIOIMPLAN
Mirza Pramudia, Ahmad Sahru Romadhon MF17-MF19
5. ANALISIS PENGARUH KECEPATAN POTONG, KEDALAMAN PEMAKANAN, DAN KECEPATAN PEMAKANAN TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN MATERIAL BAJA ST 60 PADA PROSES BUBUT CNC
Priyambodo N.A. Nugroho, Nugraha Mangku Dilaga MF20-MF23
6. PENGARUH *PLASTICIZER EPOXYDIZED SOYBEAN OIL* (ESBO) UNTUK CAMPURAN PRODUK PVC *SHEET* TERHADAP KETAHANAN SOBEK DAN KEKUATAN TARIK
Riki Nanda Setyo, Prantasi Harmi Tjahjanti MF24-MF28
7. ANALISA LAJU KOROSI PRODUK *ANODIZING ALUMINIUM HOME INDUSTRY* DI PASURUAN
Teguh Ardianto, Prantasi Harmi Tjahjanti MF29-MF33
8. METODE IDENTIFIKASI STICK SLIP PADA MULTI DIRECTIONAL CONTACT FRICTION
Yusuf Kaelani, Roy Yamsi Kurnia MF34-MF37

OTOMOTIF

1. EFEK REDUKSI *NECK VALVE INLET* PADA SEPEDA MOTOR SUPRA 100 CC
Paul James Huang's, Sutrisno OT1-OT7

2. STUDI IONISASI BAHAN BAKAR DENGAN ELEKTROMAGNETIK PADA MESIN DIESEL
Wendy Winarto, Sutrisno, Philip Kristanto OT8-OT12

3. DEBUGGING DAN REPAIR SEPEDA MOTOR HONDA NON-MATIC MELALUI PENERAPAN SISTEM PAKAR DENGAN TEKNIK FUZZY LOGIC
Tri Ginanjar Laksana, Ahmad Kamal Miqdad OT13-OT21

4. CASE BY CASE DIAGNOSTIC & OUTPUT ERROR CODE PROBLEM PADA SCANNER ELECTRONIC CONTROL UNIT KENDARAAN
Ian Hardianto Siahaan, Doddy H Sinambela, Ninuk Jonoadji, Adi Kumala Wijaya OT22-OT26

5. POLA PERILAKU SISTEM PERAWATAN PREVENTIF PENGGUNA PADA AREA ONDERSTEL KENDARAAN
Ian Hardianto Siahaan, Oegik Soegihardjo, Willyanto Anggono OT27-OT32



ANALISIS WAKTU PENUAAN TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO PADA PADUAN INGAT BENTUK $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$

Budi Arto

Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia
Jalan Mayjen Sutoyo No. 2, Cawang, Jakarta Timur

Hp: 08179844896

Email: budidamaz@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan karakterisasi terhadap kekerasan, struktur Kristal dan struktur mikro akibat proses penuaan pada paduan ingat bentuk $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$. Sifat Paduan ingat bentuk dihasilkan sebagai akibat terjadinya perubahan struktur kristal di dalam material yang dapat berlangsung secara reversibel bila diberikan siklus pemanasan dan pendinginan serta dikenal sebagai bahan yang unik karena memiliki efek super elastisitas. Paduan dengan komposisi Cu-53,4%, Zn-38,6%, Pb-5,7% dan Sn-2,3% diperlakukan pemanasan pelarutan pada 1050°C , 1 jam, dan dicelup cepat kedalam media oli, serta dilakukan pemanasan penuaan 600°C , variasi waktu 5, 15, dan 20 jam. Paduan ingat bentuk $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$ dikarakterisasi terhadap uji kekerasan dengan metode Rockwell, struktur kristal dengan difraktometer sinar-X, dan pengamatan struktur mikro dengan SEM-EDAXS (scanning electron microscope-energy dispersive analysis x-ray spectrometry). Pengamatan strukturmikro menunjukkan bahwa fasa martensit dengan sistem kembar dan fasa induk austenit yang terbentuk tersusun oleh pelat-pelat lamellar yang cenderung memanjang dengan penambahan waktu penuaan. Hasil analisis difraktogram menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk fasa martensit tipe 18R (fasa β_1) dengan sistem kristal bct (body center tetragonal) yang mengandung sistem kembar (twinning), fasa ini merupakan transformasi fasa, dari fasa induk sistem kristal bcc (fasa austenit) yang tidak stabil, kondisi yang tidak stabil inilah yang memungkinkan sifat ingat bentuk dapat muncul pada paduan $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$, serta fasa martensit dan fasa induk austenit terletak pada puncak difraksi dengan bidang orientasi hkl : (011), (101), (111), (110), (220), (012), (200), dan (311). Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan meningkat dengan bertambahnya waktu penuaan yaitu 76, 89, dan 95 HRC.

Kata kunci: Paduan ingat bentuk $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$, struktur kristal, strukturmikro, fasa martensit.

1. PENDAHULUAN

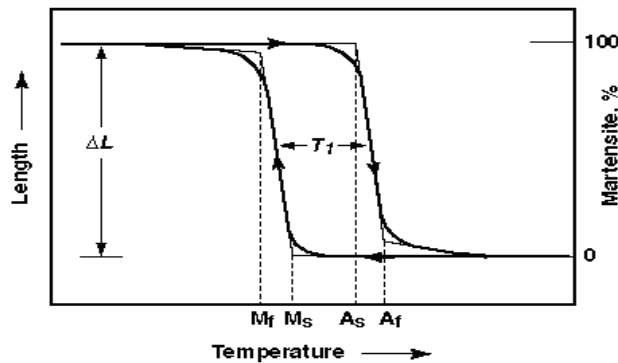
Pada umumnya logam yang dibengkokkan sampai melampaui batas elastisitasnya akan tetap bengkok setelah beban eksternal dilepaskan dan akan kembali pada bentuk semula bila diberi deformasi plastis yang sama pada arah berlawanan. Lain halnya pada sejumlah paduan logam yang menunjukkan sifat transformasi fasa yang *reversible* antara fasa martensit dan fasa austenit tanpa melalui proses difusi. Paduan logam tersebut bila dibengkokkan pada temperatur di bawah temperatur martensitik akan kembali ke bentuk semula bila dipanaskan pada temperatur austenit. Sifat mampu kembali ke bentuk semula dengan cara pemanasan dikenal sebagai efek ingat bentuk (*shape memory effect*) dan paduan yang memiliki sifat ingat bentuk tersebut dikenal sebagai *memory shape alloy*. Temperatur dimana paduan kembali ke bentuk semula dikenal sebagai temperatur transformasi [1,2].

Paduan ingat bentuk berbasis Tembaga (Cu) dan ditambahkan unsur-unsur kimia seperti Zn, Pb, Sn, Si, Fe, Al, Ni dengan komposisi tertentu merupakan salah satu bahan paduan yang digunakan sebagai bahan ingat bentuk (*shape memory alloy*).

Transformasi dari fasa austenit ke fasa martensit pada saat pendinginan dimulai, disebut temperatur transformasi *Martensite start* (M_s) dan kemudian diakhiri

dengan temperatur transformasi *Martensite finish* (M_f). Sehingga transformasi yang terjadi dari fasa austenit ke fasa martensit adalah transformasi yang tidak membutuhkan panas disebut dengan mekanisme transformasi *athermal*. karena perubahan temperatur dari fasa austenit ke temperatur kamar berlangsung sangat cepat maka tidak mungkin mekanisme difusi dapat berlangsung.

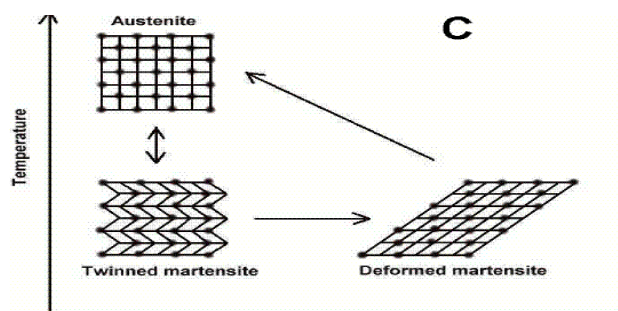
Perubahan fasa *austenite* menuju *martensite* dan sebaliknya terjadi pada jangkauan suhu tertentu, disebut suhu transformasi. Pada Gambar 1, terdapat 4 (empat) suhu yang menentukan perubahan fasa paduan ingat bentuk. Dimana M_s dan M_f menandai awal dan akhir terbentuknya fasa martensite, sedangkan A_s dan A_f menandai awal dan akhir terbentuknya fasa *austenite*. Semakin besar pembebanan terhadap paduan ingat bentuk, semakin tinggi keempat suhu transformasinya. Nilai awal keempat suhu transformasi paduan ingat bentuk bergantung pada komposisi unsur-unsurnya. Efek Ingat Bentuk dapat diamati ketika spesimen paduan ingat bentuk didinginkan menuju suhu yang lebih rendah dari M_f . Pada kondisi ini, spesimen seluruhnya akan berwujud martensite, yang mudah dideformasi. Setelah dideformasi, bentuk paduan ingat bentuk berubah. paduan ingat bentuk dapat kembali ke bentuk asalnya dengan memanaskannya hingga suhu di atas A_f [1].



Gambar 1. Mekanisme transformasi empat (4) suhu transformasi (M_f , M_s , A_s , A_f) dan kurva histeresis (T_1) dari system paduan ingat bentuk.

Ketika bahan pada fasa martensit yang terdeformasi dipanaskan, struktur kembaran fasa martensit akan mengatur dirinya dan membentuk fasa austenit. Transformasi fasa austenit ke fasa martensit dan sebaliknya berlangsung tanpa melalui proses difusi seperti terlihat pada Gambar 2 [3].

Paduan ingat bentuk menyerap kalor untuk menata kembali struktur molekulnya dari martensite menuju *austenite*. paduan ingat bentuk yang awalnya berstruktur martensite terdeformasi berubah fasa menjadi *austenite* kubik (untuk Cu-Al-Ni) [3,4]. Secara makroskopis ini dapat diamati: paduan ingat bentuk akan berubah kembali ke bentuk awal sebelum deformasi terjadi. Seiring dengan mendinginnya spesimen paduan ingat bentuk, fasa *austenite* kembali berubah menjadi fasa martensite berantai, namun kali ini tanpa disertai perubahan makroskopis. Proses ini disebut transformasi martensitik. Hampir seluruh proses transformasi martensitik berlangsung dalam jangkauan suhu transformasi yang sempit, dan selalu mengakibatkan efek histeresis suhu. Untuk setiap sistem paduan ingat bentuk, kurva histeresisnya berbeda-beda. Paduan ingat bentuk ini mempunyai sifat pemulihan regangan dan tegangan apabila dipanaskan. Sifat ini disebabkan karena terjadi transformasi fasa induk dan fasa martensit yang *reversible*. Pemulihan regangan dapat terjadi pada satu arah atau dua arah yang dikenal dengan istilah *one way* atau *two way shape memory effect* (SME), karena sifat inilah kemudian dimanfaatkan untuk bidang kedokteran digunakan sebagai bahan penyambung tulang patah, bahan alat bantu untuk meratakan gigi, jantung buatan, dalam industri logam digunakan sebagai penyambung antar pipa tanpa pengelasan, dan dalam bidang kelistrikan, seperti kontaktor listrik, alat control temperature (thermostat) dan sebagainya.



Gambar 2. Ilustrasi transformasi fasa austenite–martensit yang mampu balik.

Paduan logam yang mempunyai sifat SME, diantaranya CuZn, CuSn, NiAl, TiNi, dan banyak logam paduan lainnya. Tetapi bahan *shape memory alloy* (SMA) yang sudah dikembangkan secara komersial adalah logam paduan dasar Ni dan logam paduan dasar Cu. Agar diperoleh sifat *shape memory*, maka logam paduan dasar Cu dengan struktur α dan β harus dilarutkan kembali menjadi fasa tunggal β melalui proses *solution treatment*. Proses perlakuan panas ini biasanya mengakibatkan ukuran butir β semakin besar. Hasil penelitian terdahulu menyatakan bahwa ukuran besar butir pada paduan *shape memory* logam dasar Cu berpengaruh terhadap karakteristik termomekanis seperti *recovery shape*, temperatur transformasi, defleksi dan sensitifitas termal. Hal tersebut diatas disebabkan atas sifat mampu bentuk paduan yang pada umumnya relatif rendah (sebagai akibat dari ukuran butir fasa yang besar dan terkenal dengan harga kekerasannya tinggi).

Perlakuan panas penuaan, memberikan kesempatan kepada atom-atom untuk bermigrasi dan presipitat terjadi melalui proses nukleasi yang berlanjut membentuk kluster atom yang kemudian tumbuh sebagai inti presipitat. Laju pertumbuhan inti presipitat ini dipengaruhi oleh laju migrasi atom, karenanya presipitat meningkat dengan naiknya temperatur penuaan. Bilamana pada temperatur tertentu proses penuaan berlangsung lama, maka akan terjadi pengkasaran presipitat. Melalui metoda penuaan (aging), yaitu dengan melakukan pemanasan pada suhu 600 °C dan variasi *holding time* diharapkan dapat memperbaiki sifat mampu bentuknya. Penelitian ini bertujuan mempelajari karakteristik dari paduan ingat bentuk $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$ yang telah perlakuan panas dari celup cepat (quenching), penuaan dan variasi *holding time* terhadap sifat fisik (struktur kristal dan struktur mikro) dan kekerasan (sifat mekanik).

2. METODOLOGI

Bahan dan alat

Bahan: Pelat paduan ingat bentuk (PIB) dengan komposisi Cu-53,4%, Zn-38,6%, Pb-5,7% dan Sn-2,3%. Bahan metalografi dan larutan etsa.

Alat-alat: Furnace suhu maksimum 1200°C, Alat poles, Alat Difraktometer sinar- *Shimadzu XRD Tipe 7000* menggunakan sumber radiasi Cu dan panjang gelombang $K\alpha_1=1,5406\text{\AA}$, alat SEM-EDX merk Ziess, dan alat uji kekerasan metode Rockwell.

Tata kerja

Pelat PIB $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$ dengan ukuran 10 mm x 10 mm x 10 mm, dipanaskan dari suhu ruang hingga 1050 °C sekitar 60 menit, dan dicelup cepat (quenching) kedalam media oli SAE 10, serta dilakukan pemanasan penuaan (aging) pada suhu 600°C, variasi waktu 5, 15, dan 20 jam. Sampel dibingkai resin, kemudian permukaannya dihaluskan secara bertahap dengan amplas nomor 800, 1000, 1200, 1500 dan 2000. Larutan pengetsanya adalah HNO_3 , asam asetat, dan aseton, dengan perbandingan volume 2:3:3 [6].

Masing-masing sampel dicelup dalam larutan pengetsa selama 10 detik. Hasil perlakuan panas paduan ingat bentuk $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$ dikarakterisasi terhadap uji kekerasan dengan metode Rockwell, struktur kristal dengan difraktometer sinar-X, dan pengamatan struktur mikro dengan SEM-EDAX (scanning electron microscope-energy dispersive analysis x-ray spectrometry).

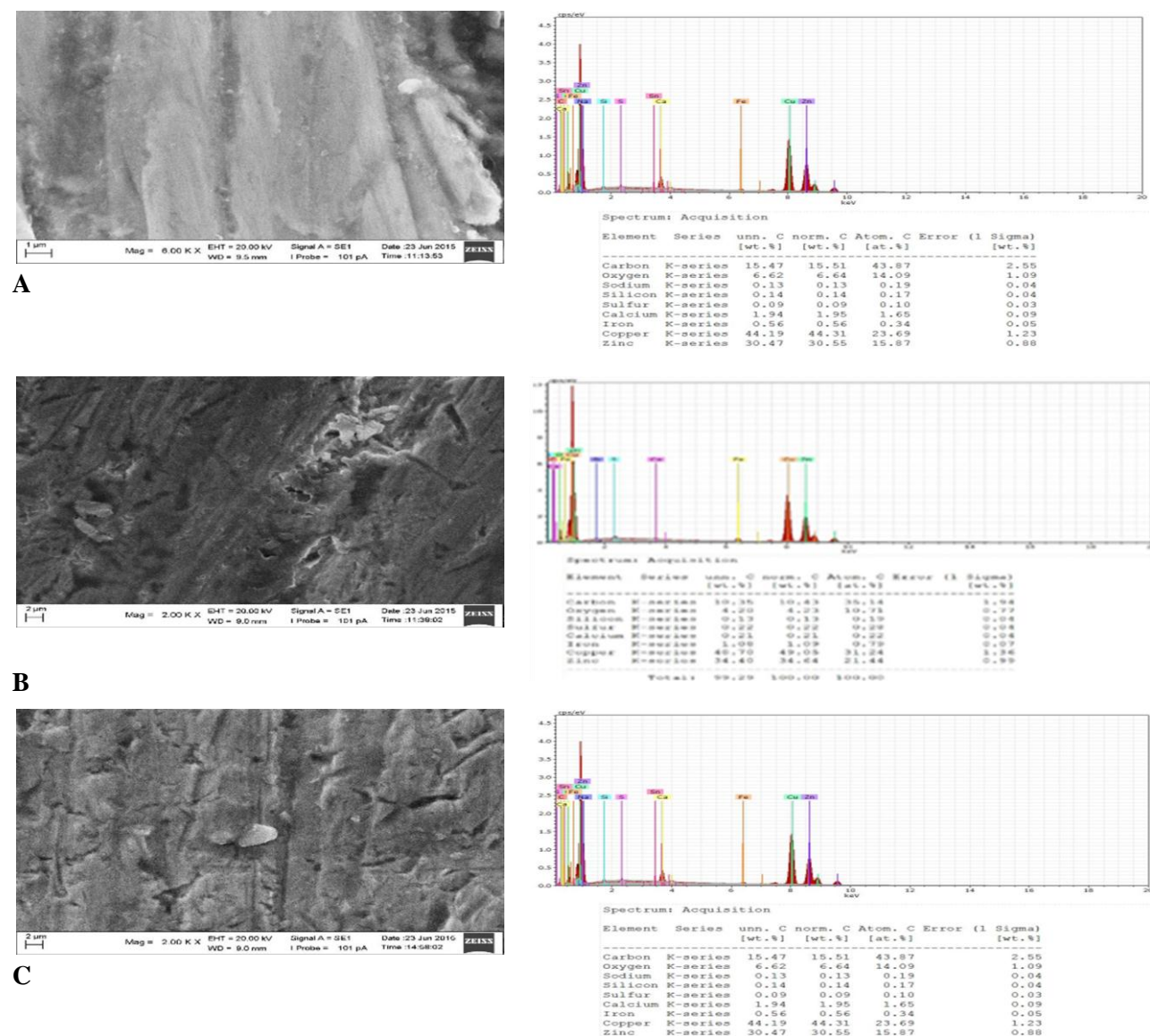
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa struktur mikro dengan SEM-EDX

Hasil pengamatan struktur mikro paduan ingat bentuk $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$ dengan menggunakan SEM-EDX ditunjukkan pada Gambar 3A, 3B, dan 3C, kondisi proses celup cepat (quenching) dimedia oli SAE 10 dilanjutkan pemanasan penuaan suhu 600°C , waktu 5 jam, 15 jam dan 20 jam. Gambar 3A-3C, memperlihatkan struktur mikro bentuk pelat-pelat *lamelar* sebagai hasil proses pengembaran (*twinning*) yang dikenal sebagai

struktur martensit. Namun pada proses penuaan dan waktu *holding time* 5 jam belum menunjukkan batas butir yang jelas, pelat-pelat martensit yang terbentuk terlihat kasar dengan orientasi yang acak. Penampakan ini disebabkan pendinginan cepat dari panas pelarutan menghasilkan reaksi ketidakteraturan (*disordered*) dan penuaan selama 5 jam belum cukup untuk mengatur orientasi pelat martensit (lihat Gambar3A).

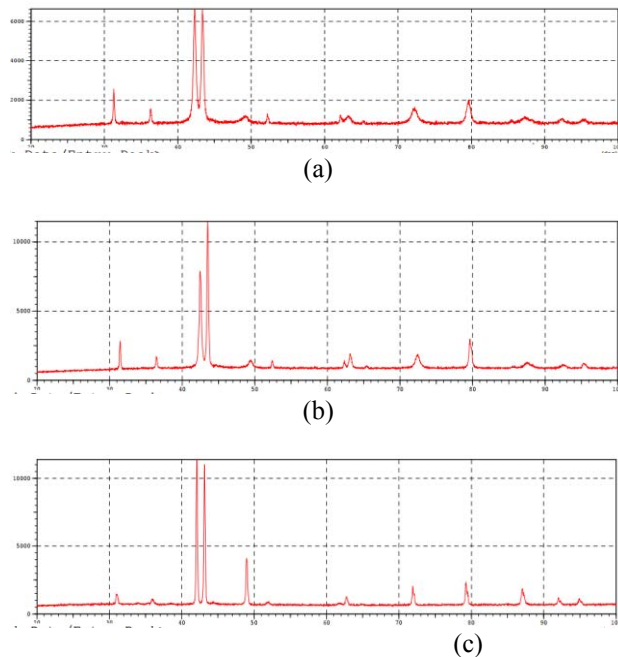
Pada gambar 3B dan 3C, dimana waktu proses penuaan lebih lama, memberi kesempatan pada vakansi dan intertisi yang terjadi sebagai akibat panas pelarutan untuk bergerak menyusun dirinya sehingga terbentuk tatanan atom yang lebih teratur, karenanya pola pelat martensit hasil penuaan 15 dan 20 jam menampakan pola pelat martensit yang semakin teratur. Semakin teraturnya pelat martensit menunjukkan bahwa fasa martensit semakin stabil. Kestabilan fasa martensit memberi konsekuensi bahwa energi termal yang dibutuhkan agar fasa martensit mengalami transformasi semakin tinggi, dengan kata lain semakin stabil fasa martensit semakin tinggi temperatur transformasi yang diperlukan.



Gambar 3. Struktur mikro PIB $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$ Penuaan suhu 600°C , waktu A.5 jam, B. 15 jam, dan C.20 jam serta alat SEM-EDX dengan pembesaran 2000X.

Analisa difraktogram sinar-X (XRD)

Gambar 4A, 4B, 4C, dan Tabel 1, menunjukkan hasil karakterisasi fasa dengan alat difraktometer sinar-X berupa pola difraktogram sinar-X, dimana intensitas tertinggi dari pola puncak difraksi keduanya terjadi pada sudut $2\theta = 42,522^\circ$ dan $2\theta = 43,735^\circ$ dan merupakan fasa martensit β_1 .



Gambar 4. Pola Difraktogram paduan ingat bentuk $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$ Penuaan suhu 600°C , waktu *holding time* A.5 jam, B. 15 jam, dan C.20 jam.

Karakterisasi dengan difraksi sinar-X pada paduan ingat bentuk $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$ yang diperlakukan panas penuaan pada temperatur 600°C dengan *holding time* 5 jam terlihat bahwa Cu merupakan unsur utama dalam paduan walaupun pada sudut $2\theta=32,467^\circ$ terlihat puncak pola difraksi mengalami penurunan tetapi pada sudut $2\theta = 48,145^\circ$ puncak pola difraksi mengalami peningkatan, hal ini berarti bahwa proses perlakuan panas menyebabkan terkonsentrasinya puncak-puncak pola difraksi pada suatu sudut tertentu yaitu pada sudut $2\theta = 48,145^\circ$ dan larutnya unsur lain ke dalam matrik.

Teridentifikasi puncak-puncak paduan ingat bentuk $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$ pada difraktogram hasil pendinginan cepat tersebut, didukung oleh hasil peng-

amatan mikrostruktur seperti terlihat pada Gambar 3A-3C. Proses pendinginan cepat dimedia oli SAE 10 telah menunjukkan pola pelat fasa martensit β_1 , dan fasa austenite sisa. Perbedaan keteraturan pelat fasa martensit tersebut sesuai dengan hasil pengamatan difraktogram, dimana Gambar 4A menampilkan tinggi dan rendah pola puncak-puncak paduan ingat bentuk $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$ yang lebih tegas dibandingkan Gambar 4B dan Gambar 4C.

Menurut Surdia [9], setelah perlakuan pelarutan dan dengan memanaskan kembali pada berbagai temperatur umumnya timbul fasa presipitat. Presipitat yang terbentuk mulai dari sangat kecil yang hanya dapat dilihat dibawah mikroskop elektron sampai ke ukuran besar yang dapat dilihat di bawah mikroskop optik dengan pembesaran rendah. Presipitat yang terbentuk dapat berbentuk seperti bola, pelat atau seperti jarum. Puncak-puncak pola hasil karakterisasi difraksi sinar-X paduan ingat bentuk $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$ yang diperlakukan panas pelarutan diperlihatkan pada Gambar 4A.

Selain itu juga terlihat puncak-puncak difraksi *incommensurate phases* dan atau puncak dari fasa lain yang tidak dan atau belum dikenal. Banyaknya puncak-puncak pola difraksi tersebut menunjukkan bahwa pendinginan media oli SAE 10 relatif tidak memberikan kesempatan terhadap pergeseran bidang- bidang kristal untuk membentuk pola martensit.

Pola puncak-puncak yang terdapat di daerah $2\theta = 30^\circ$ sampai dengan 45° dari difraktogram ketiga sampel memiliki kesamaan dengan difraktogram hasil penelitian yang terdahulu [6,7,8] oleh Suhendar,dkk[8]. Senyawa tersebut diidentifikasi sebagai struktur *martensite* tipe 18R (fasa β_1).

Analisa hasil uji kekerasan dengan metode Rockwell

Hasil pengujian kekerasan dengan metode Rockwell dapat dilihat pada Tabel 2, di bawah ini.

Menurut Surdia,dkk [9], perlakuan panas biasa dilakukan pada logam campuran yang pada temperatur kamar mempunyai struktur mikro dua fase atau lebih. Sedang pada temperatur yang lebih tinggi fase-fase tersebut akan larut menjadi satu fase. Jika pada keadaan satu fase pada temperatur tinggi tersebut dengan cepat logam tersebut didinginkan cepat, maka pada temperatur kamar akan terbentuk satu fase yang kelewat jenuh. Bila logam pada keadaan tersebut dipanaskan lagi maka fase-fase yang larut akan mengendap.

Tabel 1. Data hasil XRD dari sampel paduan ingat bentuk $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$ waktu *holding time* 5, 15, dan 20 jam serta memiliki pola difraksi yang sama

No peak	2θ (deg)	d (Å)	I/II	FWHM (deg)	Bidang hkl	Fasa	Bentuk Kristal
1	32,467	2,868	25	0.25120	0 1 1	Austenit	BCC
2	36,115	2,442	15	0.27663	1 0 1	Austenit	BCC
3	42,522	2,278	99	0.40660	1 1 1	Martensit β_1	BCT
4	43,735	2,113	100	0.38040	1 1 0	Martensit β_1	BCT
5	48,326	2,868	14	0.22269	2 2 0	Austenit	BCC
6	63,443	2,442	12	0,21655	0 1 2	Martensit β_1	BCT
7	72,642	2,278	11	0,31522	2 0 0	Martensit β_1	BCT
8	78,435	2,113	22	0.35111	3 1 1	Austenit	BCC

Tabel 2. Data Nilai Kekerasan PIB $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$ Rockwell Skala B

No	Media Pendingin	Penuaan dan <i>holding time</i>	Nilai Kekerasan (HRC)	
			Tanpa Pemanasan	Dengan Pemanasan
1.	Asli (Tidak Dipanaskan)	-	90	-
2.	Oli SAE 10	600° C, 5 jam	-	76
3.	Oli SAE 10	600° C, 15 jam	-	89
4.	Oli SAE 10	600° C, 20 jam	-	95

Perlakuan panas penuaan diikuti pendinginan cepat dengan pencelupan di dalam oli bertujuan untuk membawa keadaan pada temperatur tinggi (yaitu larutan padat yang homogen) ke temperatur yang biasa sehingga kelarutan elemen penguas akan bertambah, dalam hal ini sampel menjadi menurun kekerasannya. Hasil pengujian kekerasan pada sampel yang diperlakukan panas pelarutan dengan temperatur 600°C dengan *holding time* 5 dan 15 jam mengalami penurunan kekerasan dibandingkan dengan sampel yang tidak diperlakukan panas. Menurut Van Vlack [10], harga kekerasan hasil proses perlakuan panas penuaan lebih rendah dibandingkan dengan harga kekerasan hasil proses tanpa perlakuan panas hal ini disebabkan karena pada proses tanpa perlakuan panas terdapat tegangan sisa, tegangan sisa inilah yang mempengaruhi harga kekerasan pada proses tanpa perlakuan panas tinggi. Selain itu proses perlakuan panas pelarutan ini juga akan menghambat terbentuknya presipitat atau endapan pada batas butir. Untuk meningkatkan kembali kekuatan sampel maka dilakukan perlakuan panas *artificial aging*, yaitu sampel dipanaskan kembali pada temperatur 600°C dan ditahan pada berbagai variasi *holding time*.

Pada Tabel 4 terlihat bahwa nilai kekerasan sampel meningkat seiring meningkatnya waktu penahanan (*holding time*) 20 jam dengan nilai rata-rata kekerasan 95 HRC. Perlakuan panas *aging* akan membuat sifat mekanik logam menjadi lebih baik. Hal ini dikarenakan perubahan struktur mikro akibat dari pembentukan presipitat.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari analisa data adalah sebagai berikut: Terjadi perubahan strukturmikro pada paduan ingat bentuk $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$ sejalan dengan

lama waktu *holding time* yaitu batas butir (grain bundary) makin halus dan ditandai dengan peningkatan kekerasannya. Hasil identifikasi fasa bahwa paduan ingat bentuk $\text{Cu}_{53,4}\text{Zn}_{38,6}\text{Pb}_{5,7}\text{Sn}_{2,3}$ menunjukkan ada dua fasa yaitu fasa austenite dan fasa martensit dengan pola puncak difraksi yang sama, tapi beda tinggi dan rendah intensitas serta mempunyai bidang orientasi hkl: (011), (101), (111), (110), (220), (012), (200), dan (311). Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan meningkat dengan bertambahnya waktu *holding time* penuaan yaitu 76, 89, dan 95 HRC.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Hodgson, D.E., Wu, M.H., Biermann, R.J., *Shape Memory Alloys*, http://www.jmmmedical.com/html/shape_memory_alloys_.html
2. Miyazaki, M., Otsuka K., *Development of Shape Memory Alloys, ISIJ International*, **29**(5), 1989, 353-377.
3. Nishiyama, Z., *Martensitic Transformations*, Academic Press, New York, 1978.
4. Panjaitan, E., *Perilaku Presipitat TiNi Paduan NITINOL Akibat Perlakuan Panas Aging*, Prosiding Seminar Nasional Mikroskopi dan Mikroanalisis IV, Serpong, 1999, 67.
5. M. Freemon, S. Miyazaki.: *Shape memory alloys*, Springer Verlag Wien, New York, 1996.
6. Vandervoort, G.F., *Metallography-Principles and Practice*, McGrawHill&Co, USA(1984)
7. Dasilva, M.C.A., De Lima, S.J.G., *Evaluation of Mechanical Alloying to Obtain Cu-Al-Nb Shape Memory Alloy, Materials Research*, **8**, 2005, 2.
8. Sunendar, B., Suyatman, Sungkono, C., Persiapan, Pembuatan dan karakterisasi paduan ingat bentuk Cu-Al-Ni, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol. 7, No. 3, Juni 2006, hal: 98 – 102
9. Surdia. Tata dan Saito. Shinroku, 2000, *Pengetahuan Bahan Teknik*, cetakan kelima, Pradnya Paramita, Jakarta
10. Van Vlack, L. H., 1991, *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*, Edisi kelima. Diterjemahkan oleh Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta.